不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马消化代谢、血浆生化指标及体增重的影响

赵　芳　杨景焘　邓海峰　李晓斌　杨开伦*

（新疆农业大学动物科学学院 新疆肉乳用草食动物营养实验室 乌鲁木齐 830052）

摘　要：本试验旨在研究蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉对 12 月龄伊犁马消化代谢、血浆生化指标及体增重的影响，为蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉在马的饲养实践中的应用提供参考。选取体重相近[（261.95±14.73） kg]、年龄相近（12 月龄左右）的伊犁马公马 24 匹，随机分为 3 组，每组 8 匹，分别为对照组、试验Ⅰ组、试验Ⅱ组。各组马匹每天每匹饲喂 1.5 kg 浓缩料和 8 kg 苜蓿干草，在此基础上对照组、试验Ⅰ组、试验Ⅱ组马匹每天每匹再分别饲喂 1.5 kg 的粉粹玉米粉、蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉，进行 26 d 的消化代谢试验，其中预试期 19 d，正试期 7 d。结果表明：试验Ⅱ组的干物质、有机物、粗蛋白质、中性洗涤纤维及酸性洗涤纤维的表观消化率分别比对照组高出 4.93%（P>0.05）、5.84%（P>0.05）、7.10%（P>0.05）、14.78%（P<0.05）、17.45%（P<0.05），而试验Ⅰ组的干物质、有机物、粗蛋白质及中性洗涤纤维的表观消化率与对照组相比均差异不显著（P>0.05）。试验Ⅱ组的氮沉积量、氮沉积率显著高于对照组及试验Ⅰ组（P<0.05），分别高出 81.19%、79.86%及 104.78%、97.50%，而对照组、试验Ⅰ组间差异不显著（P>0.05）；试验Ⅱ组的钙、磷沉积量及沉积率均高于对照组、试验Ⅰ组（P>0.05）。试验Ⅱ组血浆中葡萄糖含量分别比对照组及试验Ⅰ组高出 10.04%、20.79%（P＜0.05）。饲喂蒸汽压片玉米粉和膨化玉米粉对 12 月龄伊犁马的体增重和平均日增重无显著影响（P>0.05），但试验Ⅱ组试验期内的体增重、平均日增重分别较对照组升高 18.88%、20.37%，分别较试验Ⅰ组高出 20.43%、20.37%。因此，饲喂膨化玉米粉可提高 12 月龄伊犁马对饲粮中营养物质的表观消化率及能量代谢，并促进马的生长；

收稿日期：2015-12-18

基金项目："十二五"农村领域国家科技计划课题(2012BAD45B01)

作者简介：赵　芳（1989-），女，新疆阿勒泰人，博士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail：937317612@qq.com.

*通信作者：杨开伦，教授，博士生导师，E-mail： yangkailun2002@aliyun.com

而饲喂蒸汽压片玉米粉对12月龄伊犁马的营养物质代谢、血浆生化指标及体增重均无显著影响。

关键词：玉米粉；加工方式；12月龄伊犁马；消化代谢；血浆生化指标；体增重

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

马对淀粉的消化能力有限，相对于猪，马只能分泌其8%～10%的淀粉酶[1]。因此，马匹摄入的大部分淀粉在肠道内不被消化，尤其是在饲喂高谷物水平饲粮时[2]。如果淀粉在马的小肠内没有被消化，就会进入大肠中，被大肠内的微生物发酵、降解，微生物发酵淀粉产物乳酸会引起肠道pH的变化，导致大肠微生物死亡，释放出内毒素，诱发蹄叶炎等病症，危害马匹的健康。同时，低的pH环境会降低纤维素的水解，干扰丙酸与乙酸的比例，影响挥发性脂肪酸的产生与吸收[3]。玉米中的淀粉是马饲粮中主要的能量来源。因此，提高马饲粮中玉米淀粉的消化率是避免马匹疾病发生、提高饲粮转化率的关键。研究表明，对玉米进行膨化或蒸汽压片加工不仅可使玉米中的淀粉发生不可逆的破坏，钝化抗营养因子及毒素活性，还可提高玉米对胃肠道消化酶的敏感性，增加可消化纤维含量，提高营养物质利用率，同时可降低饲养成本[4]。王潇等[5]在断奶仔猪饲粮中分别添加20%、40%、60%的膨化玉米粉，结果表明，随膨化玉米粉添加量的增加，饲粮中的营养物质消化率呈增加趋势。Zinn等[6]认为玉米粉经过蒸汽压片处理后不仅可提高玉米粉的净能，其他的营养物质如蛋白质等的消化率也得到提高。本试验基于蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉对仔猪、泌乳期奶牛等动物的影响，研究蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉对12月龄伊犁马消化代谢、体增重及血浆生化指标的影响，探究适宜于马匹饲养的玉米加工方式。

1　材料与方法

1.1　试验时间及地点

试验时间：2014年7月28日至2014年8月27日；试验地点：新疆伊犁哈萨克自治州昭苏军马场。

1.2 试验设计

本试验选取体重相近[（261.95±14.73） kg]、年龄相近（12 月龄左右）的伊犁公马 24 匹，随机分为 3 组，每组 8 匹，分别为对照组、试验Ⅰ组、试验Ⅱ组。各组马匹每天每匹饲喂 1.5 kg 浓缩料和 8.0 kg 苜蓿干草（昭苏县本地苜蓿干草，切短至长度为 5 cm 后饲喂），在此基础上，对照组、试验Ⅰ组、试验Ⅱ组马匹每天每匹再分别饲喂 1.5 kg 粉碎玉米粉（购自新疆伊犁天康饲料有限公司）、蒸汽压片玉米粉（购自山东德陵饲料原料厂）、膨化玉米粉（购自秦皇岛金旭饲料厂），进行 26 d 的消化代谢试验，其中预试期 19 d，正试期 7 d。正试期间收集全天尿样、粪样及试验用粉状浓缩料和苜蓿干草，并在正试期第 7 天时采集血浆。浓缩料组成及营养水平见表 1，苜蓿干草、粉碎玉米粉、蒸汽压片玉米粉及膨化玉米粉的营养水平见表 2。

1.3 饲养管理及饲粮组成

所有试验马匹均采用分槽分栏饲喂(栏：长 2.5 m×宽 1.2 m×高 2.0 m)。分别于每日 10:00、12:00、18:00 饲喂 0.5 kg 玉米粉、0.5 kg 浓缩料和 2 kg 苜蓿干草，最后在 24:00 饲喂 2 kg 苜蓿干草。饲喂期间采用先精后粗、少量多次的原则，以确保所有饲喂的饲草料被马匹采食完毕，同时保证充足的饮用水。预试期间，马匹采食结束后赶至运动场自由活动，此期间禁止马匹采食任何饲粮；正试期所有试验马匹均单圈舍饲养，佩戴自制收粪、收尿装置，并保持站立状态，每 2 h 收集粪样、尿样 1 次。整个试验期间每日清晨清理圈舍，保证试验马匹处于良好试验环境。

表 1 浓缩料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of concentrated feed （DM basis, %）

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels	含量 Content

玉米 Corn	20	干物质 DM	90.17
麸皮 Wheat bran	17	有机物 OM	86.02
次粉 Wheat midding	16	粗蛋白质 CP	24.13
大豆粕 Soybean meal	35	中性洗涤纤维 NDF	15.34
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	4	酸性洗涤纤维 ADF	6.09
食盐 NaCl	4	钙 Ca	1.66
石粉 Limestone	2	磷 P	1.39
预混料 Premix	2		
合计 Total	100		

预混料为每千克浓缩料提供 The premix provided the following per kg of concentrated feed：VA 20 IU，VB_1 0.34 g，VB_2 0.27 mg，VD 60 IU，VE 8.33 IU，Cu (as copper sulfate) 4.3 g，Fe (as ferrous sulfate) 17.89 g，Mn (as manganese sulfate) 13.47 g，Zn (as zinc sulfate) 12.65 g，I (as potassium iodide) 1.10 g，Se (as sodium selenite) 2.37 g，Co (as cobalt chloride) 0.42 g，膨润土 bentonite 138.45 g。

表 2 苜蓿干草、粉碎玉米粉、蒸汽压片玉米粉及膨化玉米粉的营养水平（干物质基础）

Table 2 Nutrient levels of alfalfa hay, grinding corn meal, steam-flaked corn meal and extruded corn meal (DM basis, %)

项目 Item	苜蓿干草 Alfalfa hay	粉碎玉米粉 Grinding corn meal	蒸汽压片玉米粉 Steam-flaked corn meal	膨化玉米粉 Extruded corn meal
干物质 DM	92.99	88.61	94.31	93.32
有机物 OM	91.05	87.27	93.18	91.94
粗蛋白质 CP	9.04	7.61	8.19	8.26
中性洗涤纤维 NDF	63.76	9.73	9.92	9.82

酸性洗涤纤维 ADF	39.66	1.63	1.37	2.04
钙 Ca	0.60	0.02	0.02	0.02
磷 P	0.10	0.21	0.21	0.24

1.4 样品采集及数据获得

1.4.1 称重

分别在预试期开始前和正试期结束后次日清晨对试验马匹进行空腹称重。

1.4.2 饲草料的采集及处理

在试验期内采集试验用浓缩料和苜蓿干草，自然风干后粉碎，待测。

1.4.3 粪样的采集及处理

正试期内使马匹全天保持站立状态，使用自制收粪装置，全天每 2 h 收集马匹粪样 1 次并称重，将收集的全天粪样完全混匀，随机抓取粪样总重的 10%放入已编号的样品袋中，自然风干后称重。将试验马匹连续 7 d 自然风干的粪样混匀，取 1 kg 作好记录封存待测。

1.4.4 尿样的采集及处理

正试期内使马匹全天保持站立状态，使用自制收尿装置，全天每 2 h 收集马匹尿液 1 次，将全天尿液充分摇匀，用量筒测定总体积并取 10%，加入 5%的浓硫酸后存入塑料瓶，封闭保存并做好记录。将试验马匹 7 d 收集的尿样混匀，取 1 L 保存待测。

1.4.5 血液的采集及处理

在正试期第 7 天第 1 次饲喂后 4 h 颈静脉采集血液约 5 mL 至肝素钠抗凝管中，1 500×*g* 离心 15 min，收集血浆于 1.5 mL Eppendorf 管中，-20 ℃冷藏待测。

1.5 样品测定及方法

浓缩料、苜蓿干草、粪和尿中干物质和有机物含量的测定均采用常用饲料分析方法进行测定，钙和磷含量分别采用邻甲酚酞比色法和钒钼酸铵比色法测定，能量采用 HR-15 氧弹式热量计测定，中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）含量采用美国 ANKOM 纤

维分析仪进行测定，粗蛋白质（CP）含量采用德国 Elementar Analysen Systeme 快速定氮仪测定。

血浆中总蛋白（total protein，TP）、白蛋白（albumin，ALB）、尿素氮（urea nitrogen，UN）、葡萄糖（glucose，GLU）含量采用试剂盒测定，试剂盒购于中生北控生物科技股份有限公司，货号分别为 2090-2003、2074-2003、2102-2003、2085-2003。

1.6 统计分析

试验结果均以平均值±标准差（mean±SD）表示。试验数据采用 SPSS 18.0 软件的单因素方差分析（one-way ANOVA）程序进行方差分析，各组间平均值的多重比较采用 Duncan 法进行。

2 结果与分析

2.1 不同加工方式玉米粉对12月龄伊犁马营养物质消化性的影响

由表3可知，饲喂膨化玉米粉可提高饲粮中营养物质的表观消化量，其中中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维表观消化量显著高于对照组（P<0.05），干物质、有机物和粗蛋白质表观消化量显著高于试验Ⅰ组（P<0.05）；在营养物质表观消化率方面均以试验Ⅱ组为最高，且中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维的表观消化率显著高于对照组（P<0.05），分别高出14.78%、17.45%；而试验Ⅰ组干物质、有机物、粗蛋白质及中性洗涤纤维的表观消化率与对照组相比差异不显著（P>0.05）。

表 3 不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马营养物质消化性的影响(干物质基础)

Table 3 Effects of different types of manufacturing corn meal on nutrient digestion of 12-month-old *Yili* horses (DM basis, n=8)

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ
干物质摄入量 DM intake/(kg/d)	9.77±0.36	9.70±0.39	9.85±0.34

干物质表观消化量 DM apparent digestion/(kg/d)	5.39±0.20[ab]	5.18±0.28[b]	5.59±0.17[a]
干物质表观消化率 DM apparent digestibility/%	54.17±3.31	54.14±5.80	56.84±1.87
有机物摄入量 OM intake/(kg/d)	8.93±0.33	8.88±0.36	9.00±0.31
有机物表观消化量 OM apparent digestion/(kg/d)	4.89±0.31[ab]	4.68±0.44[b]	5.22±0.16[a]
有机物表观消化率 OM apparent digestibility/%	54.80±3.32	55.49±5.40	58.00±1.79
粗蛋白质摄入量 CP intake/(g/d)	1 081.72±33.04	1 076.22±35.61	1 091.68±30.36
粗蛋白质表观消化量 CP apparent digestion/(g/d)	670.18±40.98[a]	619.88±34.18[b]	714.17±28.33[a]
粗蛋白质表观消化率 CP apparent digestibility/%	61.10±4.00	60.79±5.22	65.44±2.71
中性洗涤纤维摄入量 NDF intake/(kg/d)	4.88±0.23	4.93±0.25	5.03±0.21
中性洗涤纤维表观消化量 NDF apparent digestion/(kg/d)	1.70±0.17[b]	1.94±0.30[ab]	2.05±0.19[a]
中性洗涤纤维表观消化率 NDF apparent digestibility/%	36.63±2.38[b]	39.67±4.84[ab]	42.05±2.14[a]
酸性洗涤纤维摄入量 ADF intake/(kg/d)	2.92±0.15	2.85±0.16	2.93±0.13
酸性洗涤纤维表观消化量 ADF apparent digestion/(kg/d)	0.86±0.10[b]	0.92±0.19[ab]	1.03±0.07[a]
酸性洗涤纤维表观消化率 ADF apparent digestibility/%	30.14±2.27[b]	35.09±3.96[a]	35.40±2.85[a]

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著（P<0.01）。下表同。

In the same row, values with no or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference（P<0.01）. The same as below.

2.2　不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马能量、氮、钙、磷代谢的影响

由表 4 可知，在摄入总能、消化能方面各组间无显著差异（P>0.05），但试验Ⅱ组的代谢能显著高于对照组及试验Ⅰ组（P<0.05）。就氮代谢而言，试验Ⅱ组的粪氮（P>0.05）、尿氮含量（P<0.05）均低于对照组及试验Ⅰ组，但试验Ⅱ组的氮沉积量、氮沉积率则显著高于对照组及试验Ⅰ组（P<0.05），分别高出 81.19%、79.86%及 104.78%、97.50%，而对照组、试验Ⅰ组间差异不显著（P>0.05）。在钙、磷代谢方面，试验Ⅱ组的钙、磷沉积量、沉积率均高于对照组、试验Ⅰ组，但差异不显著（P>0.05）；而试验Ⅰ组的钙、磷沉积量、沉积率则低于对照组，但差异不显著（P>0.05）。

表 4　不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马能量、氮、钙、磷代谢的影响(干物质基础)

Table 4　Effects of different types of manufacturing corn meal on E, N, Ca and P metabolism of 12-month-old *Yili* horses (DM basis, n=8)

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ
能量代谢 E metabolism			
摄入总能 Intake GE/(MJ/d)	245.24±8.22	238.21±7.15	248.36±5.12
消化能 DE/(MJ/d)	127.40±4.73	122.26±8.59	131.11±6.58
代谢能 ME/(MJ/d)	117.81±4.67^{b}	114.83±8.45^{b}	127.82±6.82^{a}
氮代谢 N metabolism			
摄入氮 Intake N/(g/d)	173.94±5.17	168.99±4.09	174.54±5.72
粪氮 Feces N/(g/d)	68.41±3.24^{a}	69.87±3.84^{a}	58.81±3.93^{b}

尿氮 Urine N/(g/d)	78.10±9.58	74.85±6.29	66.03±7.97
氮沉积量 N retention/(g/d)	27.43±6.89^{b}	24.27±7.81^{b}	49.70±8.71^{a}
氮沉积率 N retention rate/%	15.79±4.08^{b}	14.38±4.74^{b}	28.40±4.30^{a}
钙代谢 Ca metabolism			
摄入钙 Intake Ca/(mg/d)	64.98±2.59	63.52±1.59	66.14±1.23
粪钙 Feces Ca/(g/d)	33.95±4.29	37.53±7.09	34.71±5.49
尿钙 Urine/(g/d)	3.22±0.54^{b}	4.02±0.90^{b}	9.26±1.23^{a}
钙沉积量 Ca retention/(mg/d)	19.30±3.40	15.44±3.48	20.98±4.64
钙沉积率 Ca retention rate/%	29.70±4.69	24.27±5.18	31.80±7.46
磷代谢 P metabolism			
摄入磷 Intake P/(mg/d)	29.10±0.37	28.68±0.34	29.73±0.16
粪磷 Feces P/(g/d)	22.27±3.21	22.83±4.43	21.89±2.13
尿磷 Urine P/(g/d)	0.04±0.01	0.05±0.01	0.05±0.01
磷沉积量 P retention/(mg/d)	8.15±0.83	6.47±0.66	7.15±1.02
磷沉积率 P retention rate/%	28.02±2.78	22.57±1.90	24.08±1.56

2.3 不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马血浆生化指标的影响

由表 5 可知，饲喂蒸汽压片玉米粉和膨化玉米粉对 12 月龄伊犁马血浆中总蛋白、白蛋白含量均无显著影响（P>0.05）。但试验Ⅰ组血浆中尿素氮含量显著高于对照组及试验Ⅱ组（P＜0.05），分别高出 12.05%、13.97%。就血浆中葡萄糖含量而言，试验Ⅱ组显著高于对照组及试验Ⅰ组（P＜0.05），且分别高出 10.04%、20.79%。

表 5 不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马血浆生化指标的影响

Table 5 Effects of different types of manufacturing corn meal on plasma biochemical indices of 12-month-old *Yili* horses (DM basis, n=8)

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ
总蛋白 TP/(g/L)	60.47±6.36	62.96±3.36	59.77±4.99
白蛋白 ALB/(g/L)	15.24±3.16	17.15±4.30	17.31±2.84
尿素氮 UN/(mmol/L)	4.66±0.52^{b}	5.22±0.84^{a}	4.58±0.79^{b}
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	5.28±0.81^{b}	4.81±0.59^{b}	5.81±0.84^{a}

2.4 不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马体增重的影响

由表 6 可知，饲喂蒸汽压片玉米粉和膨化玉米粉对 12 月龄伊犁马的体增重和平均日增重无显著影响（*P*>0.05），但试验Ⅱ组的体增重、平均日增重均分别较对照组高出 18.88%、20.37%，分别较试验Ⅰ组高出 20.43%、20.37%。

表 6 不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马体增重的影响

Table 6 Effects of different types of manufacturing corn meal on body weight gain of 12-month-old *Yili* horses (*n*=8)

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ
间隔天数 Interval days/d	26	26	26
初始重 Initial weight/kg	260.00±21.23	262.75±15.68	262.71±19.94
末始重 Final weight/kg	274.25±20.39	276.83±12.40	289.64±18.82
体增重 BWG/kg	14.30±4.6	14.00±2.10	17.00±3.14
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.54±0.19	0.54±0.08	0.65±0.12

3 讨 论

3.1 不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马营养物质消化性的影响

玉米中70%以上是淀粉，直链淀粉和支链淀粉的比例分别为27%、73%，淀粉以淀粉颗

粒的形态紧密排列在胚乳中，淀粉颗粒被蛋白质包被，淀粉链间也以氢键连接，这些均不利于动物胃肠道中的微生物和酶对淀粉的消化利用。蒸汽压片、膨化可将淀粉从蛋白膜中释放出来，同时破坏淀粉链的结构，从而提高玉米粉的消化率，其中蒸汽压片处理玉米可以使淀粉的消化率提高10%~20%。Zinn等[6]认为玉米粉经过蒸汽压片处理后不仅可提高玉米粉的净能，其他的营养物质如粗蛋白质等的消化率也可得到提高。Plascencia等[7]认为蒸汽压片玉米粉可提高瘤胃中微生物蛋白的含量，小肠和总肠中氮消化率也有所增加。Burkholder等[8]使用蒸汽压片玉米粉和粉碎玉米粉饲喂舍饲牛，结果表明蒸汽压片玉米粉可降低牛排粪量和排尿量，总排出氮量降低，体内的氮沉积率提高了4.21%。齐智利[9]以泌乳期奶牛为试验动物，饲喂挤压程度不同的膨化玉米粉，结果表明膨化玉米粉可显著增加干物质、淀粉在奶牛瘤胃中的降解率，但随着挤压膨化温度的增加干物质及淀粉在瘤胃中的降解率呈下降趋势。Chen等[10]使用含有40%蒸汽压片玉米粉的饲粮饲喂泌乳期奶牛，结果表明中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维的表观消化率分别提高了21.96%、23.35%。

在本试验中，饲喂膨化玉米粉可提高12月龄伊犁马对饲粮中干物质、有机物、粗蛋白质、中性洗涤纤维及酸性洗涤纤维的表观消化量及表观消化率，与前人研究结果一致，这是由于玉米经过膨化处理后增加了消化道中酶与玉米接触的机会，从而提高了饲粮中营养物质的消化性。而饲喂蒸汽压片玉米粉的12月龄伊犁马的营养物质表观消化量及表观消化率与对照组相比无显著差异，这可能与蒸汽压片玉米粉的加工工艺有关。此外，前人研究表明，成年马对饲粮中粗蛋白质的表观消化率在80%～90%之间[11]，而本试验中12月龄伊犁马对饲粮中粗蛋白质的表观消化率在60%~66%之间，低于上述报道的值，可能是本试验中的12月龄马胃肠道发育不健全，故其对饲粮中粗蛋白质的表观消化率低于前人报道的值。

3.2　不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马能量、氮、钙、磷代谢的影响

玉米经膨化或蒸汽压片不仅可使玉米中的淀粉发生不可逆的破坏，钝化抗营养因子及毒素活性，还可提高玉米对胃肠道消化酶的敏感性，增加可消化纤维含量[4]。NRC（2007）报

道蒸汽压片玉米粉的净能值为 6.48 MJ/kg，比干法加工玉米粉的净能值高出 11.5%[12]。Knowlton 等[13]使用高湿玉米粉替代粉碎玉米粉饲喂泌乳期奶牛，在氮摄入量增加的情况下，氮排泄量降低了 13.10%。Glenn 等[14]用高湿玉米粉代替粉碎玉米，在磷摄入量接近的情况下，磷的排放量降低了 11.26%。胡建业[4]报道膨化玉米粉可提高生长期仔猪蛋白质表观消化率、氮消化率、氮沉积、表观消化能及能量利用率。陈涛[15]在泌乳期奶牛饲粮中添加 20%的蒸汽压片玉米粉，通过消化代谢试验发现蒸汽压片玉米粉可显著降低奶牛氮、磷的排泄量。

在本试验中，饲喂膨化玉米粉可提高 12 月龄伊犁马的消化能、代谢能，这可能是由于膨化玉米粉中的淀粉结构更易于被马消化道中的酶分解，提高了饲粮中营养物质的消化率，为胃肠道提供了更多的葡萄糖，使血液中葡萄糖含量增加，更多的葡萄糖直接用于机体的能量供给，从而提高了 12 月龄伊犁马的消化能和代谢能。同时，饲喂膨化玉米粉可增加饲粮中氮、钙、磷的沉积率，是由于 12 月龄伊犁马对饲粮中的消化能和代谢能增加，使肠黏膜细胞摄入的葡萄糖量增加[16]，葡萄糖在肠黏膜细胞中经三羧酸循环氧化生产 ATP，参与肠黏膜细胞核酸和蛋白质代谢，从而促进了肠黏膜细胞的增殖，增加了胃肠道吸收营养物质的吸收面积，最终提高了饲粮中营养物质的表观消化率[17]。而饲喂蒸汽压片玉米粉有降低 12 月龄伊犁马营养物质代谢的趋势，这可能与蒸汽压片玉米粉加工过程中的温度和湿度有关。

3.3 不同加工方式玉米粉对 12 月龄伊犁马血浆生化指标的影响

在动物饲粮中使用蒸汽压片玉米和膨化玉米可提高饲粮中营养物质的消化率，改善能氮平衡。李福昌等[18]证实在肉牛饲粮中添加不同水平的熟玉米淀粉，随着过瘤胃淀粉含量的增加，血浆葡萄糖含量增加。王桂瑛等[19]分别在云南黄牛饲粮中添加粉碎玉米、粉碎蒸汽玉米、干碾压玉米、湿碾压玉米、蒸汽压片玉米，结果表明饲喂蒸汽压片玉米可显著增加血浆葡萄糖含量，同时使尿素氮含量降低。

褚洪忠[20]以 8~11 月龄伊犁马为研究对象，测定了血浆中总蛋白、白蛋白含量分别在 54~65 g/L、18~25 g/L 之间，本试验中 12 月龄伊犁马血浆中总蛋白、白蛋白含量与褚洪忠[20]

的测定结果相近。饲喂蒸汽压片玉米粉和膨化玉米粉对12月龄伊犁马血浆中总蛋白和白蛋白含量无显著影响，但试验Ⅰ组12月龄伊犁马血浆中尿素氮含量显著高于对照组及试验Ⅱ组，可能是由于该组马匹对饲粮中粗蛋白质的表观消化率及氮沉积率均低于对照组及试验Ⅱ组，体内的蛋白质代谢较为旺盛，导致血浆中尿素氮含量升高。在血浆葡萄糖含量方面，与饲喂粉碎玉米粉和蒸汽压片玉米粉相比，饲喂膨化玉米粉使12月龄伊犁马血浆中葡萄糖含量显著增加，这可能是由于玉米粉经膨化处理后淀粉间的氢键断裂，淀粉由原来紧凑有序的结构变成了松散无序的结构[21]，当膨化玉米粉进入12月龄伊犁马小肠后被淀粉酶快速水解成葡萄糖，胃肠道对葡萄糖的吸收量增加，从而使血浆中葡萄糖含量增加。

3.4 不同加工方式玉米粉对12月龄伊犁马体增重的影响

目前国内外关于蒸汽压片玉米粉、膨化玉米粉对动物生长的影响已有大量报道。刘萍等[22]给3日龄犊牛饲喂蒸汽压片玉米与膨化大豆混合精料，体增重提高了4.32%。Lv等[23]研究表明，膨化玉米粉可增加仔猪断奶后14～25日龄的平均日增重和料重比。李瑞景[24]以西门塔尔杂交牛为试验动物，分别饲喂含30%、60%、90%蒸汽压片玉米粉的饲粮，结果表明添加90%的蒸汽压片玉米粉可显著增加平均日增重。

在本试验中，饲喂膨化玉米粉可提高12月龄伊犁马的体增重和平均日增重，这是由于膨化玉米粉中淀粉更易被马肠道中的消化酶水解，改善了饲粮中营养物质的消化利用率，使血浆中葡萄糖含量增加，为脂肪合成提供更多的前体物质，当脂肪细胞中的葡萄糖充裕时，葡萄糖酵解产生大量的 α-磷酸甘油和丙酮酸，而丙酮酸能转化成用于脂肪合成的乙酰辅酶A[25]。同时，葡萄糖通过磷酸戊糖途径为脂肪酸的合成提供大量的还原型辅酶Ⅱ（NADPH），因此饲喂膨化玉米粉可提高12月龄伊犁马的脂肪沉积，最终提高伊犁马的体增重。而饲喂蒸汽压片玉米粉对12月龄伊犁马的体增重无显著影响，可能与试验动物的生理状态、饲喂方式及蒸汽压片玉米粉的糊化程度有关。

4 结　论

饲喂膨化玉米粉可提高饲粮中营养物质表观消化率及能量代谢，并促进马的生长，而饲喂蒸汽压片玉米粉对 12 月龄伊犁马营养物质代谢、血浆生化指标及体增重无显著影响。

参考文献：

[1] POTTER G D,ARNOLD F F,HOUSEHOLDER D D,et al.Digestion of starch in the small or large intestine of the equine[J].Pferdeheilkunde,1992,1:107–111.

[2] RESPONDEK F,GOACHET A G,JULLIAND V.Effects of dietary short-chain fructooligosaccharides on the intestinal microflora of horses subjected to a sudden change in diet[J].Journal of Animal Science,2008,86(2):316–323.

[3] MEDINA B,GIRARD I D,JACOTOT E,et al.Effect of a preparation of *Saccharomyces cerevisiae* on microbial profiles and fermentation patterns in the large intestine of horses fed a high fiber or a high starch diet[J].Journal of Animal Science,2002,80(10):2600–2609.

[4] 胡建业.膨化玉米营养价值评定及对仔猪生产性能影响的研究[D].硕士学位论文.郑州:河南农业大学,2009.

[5] 王潇,何瑞国,张文静.不同添加量的膨化玉米对断奶仔猪的生长性能和养分消化率的影响[J].饲料工业,2005,26(23):24–26.

[6] ZINN R A,OWENS F N,WARE R A.Flaking corn:processing mechanics,quality standards,and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle[J].Journal of Animal Science,2002,80(5):1145–1156.

[7] PLASCENCIA A,ZINN R A.Influence of flake density on the feeding value of steam-processed corn in diets for lactating cows[J].Journal of Animal Science,1996,74(2):310–316.

[8] BURKHOLDER K M,GUYTON A D,MCKINNEY J M,et al.The effect of steam flaked or dry ground corn and supplemental phytic acid on nitrogen partitioning in lactating cows and ammonia emission from manure[J].Journal of Dairy Science,2004,87(8):2546–2553.

[9] 齐智利.玉米的不同加工处理对泌乳奶牛瘤胃发酵和小肠消化以及能氮同步代谢影响的研究[J].博士学位论文.呼和浩特：内蒙古农业大学，2004.

[10] CHEN K H,HUBER J T,THEURER C B,et al.Effect of steam flaking of corn and sorghum grains on performance of lactating cows[J].Journal of Dairy Science,1994,77(4):1038–1043.

[11] SCHRYVER H F,PARKER M T,DANILUK P D,et al.Salt consumption and the effect of salt on mineral metabolism in horses[J].The Cornell Veterinarian,1987,77(2):122–131.

[12] NRC.Nutrient requirements of horses[S].6th ed. Washington,D.C.:The National Academies Press,2007:229-230.

[13] KNOWLTON K F,GLENN B P,ERDMAN R A.Performance,ruminal fermentation,and site of starch digestion in early lactation cows fed corn grain harvested and processed differently[J].Journal of Dairy Science,1998,81(7):1972–1984.

[14] GLENN B,DAWSON T,LEFEOURT A,et al.Effect of lever of high moisture corn in alfalfa-based rations on starch digestion by mid lactation cows[J].Journal of Animal Science,1998,76(23):336.

[15] 陈涛.蒸汽压片玉米对奶牛生产性能和氮磷排放的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2009.

[16] CAMP L K,SOUTHERN L L,BIDNER T D.Effect of carbohydrate source on growth performance,carcass traits,and meat quality of growing-finishing pig[J].Journal of Animal Science,2003,81(10):2488–2495.

[17] AMORNTHERWAPHAT N,LERDSUWAN S,ATTAMANGKUNE S.Effect of extrusion of corn and feed form on feed quality and growth performance of poultry in a tropical environment[J].Poultry Science,2005,84(10):1640–1647.

[18] 李福昌,冯仰廉,莫放,等.熟玉米淀粉的消化率及其对肉牛氮沉积和血糖浓度的影响[J].中国农业大学学报,1998,3(增刊):167–171.

[19] 王桂瑛,毛华明,文际坤.不同处理玉米日粮对黄牛血液指标的影响及相关性分析[J].饲料工业,2010,31(5):27–30.

[20] 褚洪忠.不同饲养管理条件对杂交伊犁马驹生长发育影响的研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.

[21] 刘英,王之盛,周安国.挤压膨化对玉米营养质量的影响[J].中国饲料,2007(16):7–10.

[22] 刘萍,孟庆翔,解祥学,等.蒸汽压片玉米及膨化大豆对奶公犊生长和屠宰性能的影响[J].中国农业大学学报,2013,18(2):124–129.

[23] LV S Q,LI D F,XING J J,et al.Effects of extrusion of corn on growth performance,nutrient digestibility and short-chain fatty acid profiles in the hindgut of weaned piglets[J].Archives of Animal Nutrition,2006,60(2):170–179.

[24] 李瑞景.蒸汽压片玉米对肉牛生长性能和肉品质的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2011.

[25] FURLAN A G,MONTEIRO R T,SCAPINELLO C,et al.Nutritive value and performance of growing rabbits fed rations containing extruded corn[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2003,32(5):1157–1165.

Effects of Different Types of Manufacturing Corn Meal on Nutrient Digestion and Metabolism, Plasma Biochemical Indices and Body Weight Gain of 12-Month-Old *Yili* Horses

ZHAO Fang　YANG Jingtao　DENG Haifeng　Li Xiaobin　Yang Kailun*

(*Xingjiang Agriculture University, Xinjiang Key Laboratory of Meat & Milk Production Herbivore Nutrition, Urumqi* 830052, *China*)

Abstract: This experiment aimed to study the effects of different types of manufacturing corn meal on nutrient digestion and metabolism, plasma biochemical indices and body weight gain of

*Corresponding author, professor, E-mail：　yangkailun2002@aliyun.com　(责任编辑　菅景颖)

12-month-old *Yili* horses, and provided a reference for steam-flaked corn meal and extruded corn meal in horse' feeding practice. Twenty-four healthy *Yili* male horses with the age of 12 months old and the average body weight of (261.95±14.73) kg were randomly divided into 3 groups, and each group had 8 horses. One group is control group, the others are trial groups Ⅰ and Ⅱ. All horses were fed 1.5 kg concentrated feed and 8 kg alfalfa hay per day. Besides, each horse of control group, trial groups Ⅰ and Ⅱ was fed with 1.5 kg grinding corn meal, steam-flaked corn meal and extruded corn meal, respectively. The digestion and metabolism experiment lasted for 26 d comprised a 19 d adaptation and 7 d trial period. The result showed that the apparent digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) of trial group Ⅱ were higher than that of control group, and were increased by 4.93% ($P>0.05$), 5.84% ($P>0.05$), 7.10% ($P>0.05$), 14.78% ($P<0.05$) and 17.45%($P<0.05$), respectively, but the digestibility of DM, OM, CP and NDF of trial group Ⅰ were not significantly different compared with control group ($P>0.05$). Nitrogen retention, nitrogen retention rate of trial group Ⅱ were significantly higher than those of control group and trial group Ⅰ ($P<0.05$), and were increased by 81.19% and 79.86%, 104.78% and 97.50%, respectively, but there were no significant differences between control group and trial group Ⅰ ($P>0.05$). The calcium (Ca) retention, phosphorus (P) retention, Ca retention rate and P retention rate of trial group Ⅱ were higher than those of control group and trial group Ⅰ ($P>0.05$). The content of plasma glucose of trial group Ⅱ was increased by 10.04% and 20.79% （$P<0.05$）, respectively, compared with control group and trial group Ⅰ. Feeding steam-flaked corn meal and extruded corn meal had no significant effects on body weight gain and average daily gain (ADG) of 12-month-old *Yili* horses, but body weight gain and ADG of trial group Ⅱ were increased by 18.88% and 20.37%, 20.43% and 20.37%, respectively, compared with control group and trial group Ⅰ. Therefore, feeding extruded corn meal can improve the apparent digestibility of dietary nutrients, increase the energy metabolism and promote horse grow, but feeding steam-flaked corn has no significant effects on nutrient digestion and metabolism, plasma biochemical indices and body weight gain of 12 month-old *Yili* horse.

Key words: corn meal; processing method; 12-month-old *Yili* horses; digestion and metabolism; plasma biochemical indices; body weight gain